



TITLE:

Development of Software-Defined Multichannel Receiver for Equatorial Atmosphere Radar (EAR)(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Nor, Azlan bin Mohd Aris

CITATION:

Nor, Azlan bin Mohd Aris. Development of Software-Defined Multichannel Receiver for Equatorial Atmosphere Radar (EAR). 京都大学, 2020, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22590>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-06-01に公開; 許諾条件により要旨は2020-06-01に公開

博士学位論文調査報告書

論文題目 Development of Software-Defined Multichannel Receiver
for Equatorial Atmosphere Radar (EAR)
(ソフトウェア無線機を用いた赤道大気レーダー(EAR)用
多チャンネル受信機の開発)

申請者氏名 Nor Azlan bin Mohd Aris

最終学歴 平成25年 9月
Universiti Teknologi Malaysia (UTM) – Master of Engineering (Electrical) –
Research mode修了
令和 2年 3月
京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻博士後期課程
研究指導認定見込・退学

学識確認 令和 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査委員長) 教授 橋口 浩之

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 山本 衛

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
准教授 村田 英一

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	Nor Azlan bin Mohd Aris
論文題目	Development of Software-Defined Multichannel Receiver for Equatorial Atmosphere Radar (EAR) (ソフトウェア無線機を用いた赤道大気レーダー(EAR)用多チャンネル受信機の開発)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、赤道インドネシアに設置された大型大気観測用レーダーである赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; 以下、EAR)の機能向上のため、汎用のソフトウェア無線機を用いて多チャンネル受信システムを開発した。多チャンネル受信システムを用いた空間アンテナ法による水平風と、同時にEAR既存システムによって得られた水平風を比較することで、開発システムの動作確認、性能評価を行った。</p> <p>大気レーダーは、大気乱流による屈折率の揺らぎからの微弱な散乱電波を利用して、大気の運動（風速）の高度プロファイルを測定する。EARは、全球のエネルギーや物質の循環にも影響を与える、対流活動が最も活発な赤道インドネシア域における大気上下結合過程などを高精度に観測するために設置されたVHF帯大型大気レーダーである。EARは、これまで赤道大気の諸現象に関する多くの成果を収めているが、単一の受信チャンネルしか有さないため、さらなる機能向上のため多チャンネル受信システムの開発が行われた。多チャンネル受信システムの開発には、将来的改良を含めた柔軟な設計を可能とするため、汎用のソフトウェア無線機USRP X300とGnuRadioを使用した。複数のアンテナからの受信信号が同時に得られれば、アンテナ間の信号相関を利用して空間アンテナ法により水平風測定が可能となり、またレーダーイメージングによる高分解能観測も可能となる。</p> <p>本論文では、最大4チャンネルからの同時受信を可能にするシステムを開発した。EARの10 MHz基準信号と1 PPS信号を分配し、すべてのソフトウェア無線機に供給することで、EARシステムと多チャンネル受信システムの同期を実現した。多チャンネル受信システムのチャンネル間の位相差は十分に小さく、ソフトウェア無線機同士は十分な精度で同期していることが確認された。アンテナ・送受信モジュールで受信された信号は、既存のEARシステムの受信機に至る経路の途中で、方向性結合器により信号の一部を取り出し多チャンネル受信機（USRP X300）に入力する仕様とし、既存システムにほとんど影響を与えず、両システムで同時にデータを取得することを可能にした。USRP X300でRF信号はベースバンド信号に復調・デジタル化され、1チャンネル当たり5MspsのIQデータがホスト計算機に転送される。既存EARシステムと多チャンネル受信システムとの同期性を高めるために、送信パルスの漏れ信号をリアルタイム信号処理で活用することにより、レンジング及び各受信チャンネルの位相補償が行われる。</p> <p>各受信チャンネルに接続される受信アンテナの開口やアンテナ間距離を変えた5種類のアンテナ配置について観測実験を行った。空間アンテナ法による全相関解析(Full Correlation Analysis; FCA)により水平風の高度プロファイルが推定され、EAR既存システムでドップラービーム走査法で得られた水平風データとの比較から、評価された。最大観測高度はいずれも約10kmで、受信アンテナ開口にはほとんど依存しなかった。両手法で得られた水平風を線形回帰分析により評価し、最大の開口を持つアンテナ配置構成が最も良い結果を示した。これらの実験結果に基づいて、ソフトウェア無線機を用いたEAR用多チャンネル受信システムの将来の改良点について、多チャンネル受信機に入力される信号の信号対雑音比を高めることに留意が必要と提言された。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; 以下、EAR)は、2001年にインドネシア共和国西スマトラ(東経100.32度, 南緯0.20度)の赤道直下に設置された、送受信周波数47MHzのVHF帯ドップラーレーダーである。EARでは、560組の八木アンテナと送受信モジュールから成るアクティブ・フェーズド・アレイ・システムが採用されているが、各アンテナからの信号はアナログ合成され、受信機は1チャンネルだけである。申請者は、汎用のソフトウェア無線機(USRP X300とGnuRadio)を用いて、EAR用多チャンネル受信システムを開発した。多チャンネル受信システムの利用により、空間アンテナ法やレーダーイメージングなどを用いた測定が可能になるなど、EARの応用範囲が広がる。

申請者は、開発した多チャンネル受信システムの信頼性を検証するため、多数のテスト観測実験を実施した。4系統の受信チャンネルに対応する2台のUSRP X300デバイスは、既存EARから出力される10MHz基準信号と1秒毎パルス(1 PPS)信号を用いて、EARと同期が取られた。各アンテナで受信され、送受信モジュールにより増幅された47MHz信号を適当な数だけアナログ合成した後、方向性結合器により1/100だけを多チャンネル受信システムに引き込むことで、EARの既存受信システムでも同時にデータ取得を可能としている。すなわち、多チャンネル受信システムによる空間アンテナ法と既存システムによるドップラービーム走査法で同時にデータを取得可能としている。空間アンテナ法のための信号はソフトウェア無線機で復調・サンプルされた後、送信パルスの漏れ信号を利用してレンジングが行われ、パルス圧縮復号やコヒーレント積分されたデータは、オフライン信号処理のためにハードディスクに保存される。この際、EARとの同期の僅かなずれを補正するため、受信チャンネル毎に送信パルスの漏れ信号とパルス圧縮のための2値位相変調符号とのラグ相関処理によりレンジング精度を高め、さらに送信パルス位相の時間的変化から全受信データの位相補償がリアルタイム信号処理により行われる。初期実験結果では、空間アンテナ法により完全相関分析(FCA)を用いて推定された水平風が、ドップラービーム走査法に比べて大きな変動が見られた。さらに推定精度を高め、多チャンネル受信システムを用いた空間アンテナ法による風速推定に対するアンテナ開口や配置の影響を評価するため、2019年4~9月に数回に渡る観測実験を行った。ドップラービーム走査法で得られた水平風との比較から、空間アンテナ法ではより大きな開口のアンテナを用いる方が良い精度が得られることを見出した。

以上、本研究では赤道大気レーダーの機能を向上させる多チャンネル受信システムを汎用のソフトウェア無線機を用いて開発し、その有用性を示した。

よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年2月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(令和2年5月31日までの間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 令和2年 6月 1日以降